جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و شش، تابستان ۱۳۹۷

صص ۵۱-۳۷

DOI: 10.22067/geo.v7i2.66208

طبقه‌بندی مخاطرات رودخانه‌های شهری (مطالعه موردی: استان مازندران، شهر نوشهر)

رضا اسماعیلی[۱]- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

محسن رفیعی- کارشناسی ارشد مخاطرات طبیعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

قاسم لرستانی- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

کیا بزرگمهر- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/٤/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۱۲/۱۳

چکیده

ژئومورفولوژی می‌تواند با مطالعه مخاطرات رودخانه‌ای در مدیریت سیستم‌های رودخانه‌ای مشارکت نماید. در این مطالعه، رودهای شهری نوشهر مورد بررسی و طبقه‌بندی قرار گرفتند. نوشهر در شمال ایران و استان مازندران واقع شده است. در این مقاله روشی برای طبقه‌بندی مخاطرات رودخانه‌ای در مناطق شهری پیشنهاد شده است. کار در سه مرحله صورت گرفته است: ۱) بازه‌های کانال بر اساس ویژگی‌های ژئومورفیک و شاخص‌های تعدیل رود تفکیک شدند. حساسیت ژئومورفیک هر بازه در سه گروه زیاد، متوسط و کم تقسیم‌بندی شدند. ۲) در مرحله دوم، هر بازه رودخانه‌ای بر اساس فعالیت مستقیم انسان(مدیریت) و سازه‌های رودخانه‌ای تقسیم‌بندی شدند. بازه‌های رودخانه‌ای به چهار گروه A، B، C و D گروهبندی شدند. در مرحله سوم، با ترکیب مراحل قبلی (تعدیل ژئومورفیک و فعالیت انسانی) رودهای شهری به ۱۲ طبقه تقسیم‌بندی شدند. شدت فعالیت فرایندهای ژئومورفیک هم با مقادیر ۱، ۲ و ۳ رتبه‌بندی شدند. ظرفیت تعدیل ژئومورفیک همه بازه‌ها در گروه متوسط و کم قرار دارد. بازه‌های رودهای کورکورسر(٤-۱) و ماشلک (۱٤-۱۲) تقریباً طبیعی بوده و در گروه MD و MC قرار دارند. این کانال‌ها ظرفیت تعدیل طبیعی متوسط داشته و مداخلات حفاظتی در کمتر از ۱۰ درصد بازه وجود دارد. بازه‌های رودخانه گردکل در طبقه LA و LB طبقه‌بندی شدند. این کانال‌ها ظرفیت تعدیل طبیعی کمی داشته و کناره‌های آن‌ها با پوشش‌های محافظ حفاظت می‌شود. پس از طبقه‌بندی رود، مخاطرات کانال‌های رودخانه‌ای شامل فرسایش، رسوب‌گذاری، فعالیت انسانی و هیدرولوژی در هر بازه مورد بررسی قرار گرفتند. در طبقه MD فرسایش غلبه داشته و در طی سیلاب فرایند تعدیل طبیعی اتفاق می‌افتد. دخالت‌های

۱ نویسنده مسئول : ۰۹۱۱۱۲۰۸۲۲۵ Email : r.esmaili@umz.ac.ir

انسانی مشاهده‌شده در این بازه‌ها شامل اشغال دشت سیلابی، انباشت نخاله‌های شهری و برداشت رسوب از بستر رود می‌شود. در طبقات LA و LB در همه بازه‌ها اشکال رسوب‌گذاری دیده می‌شود. رسوب‌گذاری موجب کاهش ظرفیت کانال و خروج سیل از بالای تراس‌های آبرفتی شده که موجب ایجاد خسارت به مناطق شهری شده است.

کلیدواژه‌ها : مخاطرات رودخانه‌ای، رودهای شهری، طبقه‌بندی رود، نوشهر، مازندران.

۱- مقدمه

بررسی مخاطرات رودخانه‌ای یکی از جنبه‌های مشارکت ژئومورفولوژیست‌ها در مدیریت سیستم‌های رودخانه‌ای است. مخاطرات در سیستم‌های ژئومورفیک به تغییرات طبیعی یا غیرطبیعی در لندفرم‌ها که اثرات نامناسبی بر پایداری ژئومورفیک یک مکان می‌گذارند اطلاق می‌شوند (Chin and Gregory, 2005). این تغییرات می‌توانند به صورت ناگهانی و تدریجی باشند. مخاطرات رودخانه‌ای عمدتاً شامل سیلاب و فرسایش، و رسوب‌گذاری می‌شوند(اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۵). اگرچه فرسایش و رسوب‌گذاری بیشتر به عنوان مخاطرات ژئومورفولوژیک شناخته می‌شوند اما وقوع سیل که یک پدیده هیدرولوژیکی است با فرسایش و رسوب‌گذاری ارتباط تنگاتنگی دارد. برای مثال، از طرفی سیل می‌تواند موجب فرسایش و رسوب‌گذاری در کانال رود شود و از طرفی دیگر، افزایش رسوب‌گذاری موجب کاهش ظرفیت کانال شده و خروج سیل از کانال می‌تواند خطراتی را برای ساکنین اطراف رودخانه ایجاد نماید. از این رو کانال رود نقش مهمی در انتقال جریان آب و رسوب دارد و هرگونه تغییرات طبیعی یا انسانی می‌تواند بر ویژگی‌های آن اثر بگذارد. در حالت طبیعی کانال رود می‌تواند خود را با تغییرات ایجادشده در سیستم رودخانه تعدیل نماید.

از میان فعالیت‌های انسانی، شهرنشینی بیش از بقیه، سیستم‌های رودخانه‌ای را تغییر می‌دهد. رشد سریع جمعیت شهرنشین در طی سال‌های اخیر موجب گسترش مناطق شهری در مناطق مختلف جهان خصوصاً کشورهای در حال توسعه شده است. این رشد سریع تغییراتی زیادی را به همراه داشته و به تبع آن سیستم‌های رودخانه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است. شهرسازی به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سیستم‌های رودخانه‌ای تأثیر می‌گذارد. اثرات مستقیم شامل مواردی است که کانال رود به صورت عمدی مانند عملیات مهندسی و کانال‌سازی تغییر می‌کند و تغییرات غیرمستقیم شامل تولید رسوب و رواناب است که در نتیجه فعالیت‌های ساخت‌وساز افزایش می‌یابد(حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹٤).

مخاطرات رودخانه‌های شهری به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: مخاطرات مرتبط با اثرات شهری، مخاطرات ناشی از تعدیل کانال رود و مخاطرات مربوط به روش‌های مدیریتی (Chin et al., 2013).

– مخاطرات مرتبط با اثرات شهری شامل تمام تغییرات ایجادشده در شهر و ایجاد سطوح نفوذناپذیر است که موجب تغییر در مقدار رواناب و رسوب می‌شود. برای مثال کانال‌های رودخانه به علت ایجاد شبکه‌های جاده‌ای و ریلی به قسمت‌های مختلف تقسیم می‌شوند، فرایندهای ناشی از فراوانی سیلاب، زهکشی رواناب و فرسایش کرانه می‌تواند موجب ایجاد خطر در مکان‌های خاص از کانال شود. تحقیقات حسین‌زاده و جهادی طرقی (۱۳۸٦)، رستمی خلج و همکاران (۱۳۹۱)، قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۵)، Morelli et al (2014) و Cherqui et al (2015) در این زمینه از مخاطرات شهری انجام شده است.

– مخاطرات ناشی از تعدیل کانال رود در واقع مخاطراتی هستند که در اثر تغییرات شار آب و رسوب در ویژگی‌های هندسی رود ایجاد می‌شوند و به صورت‌های مختلفی مانند پهن شدن و تنگ شدن کانال، حفر بستر، تغییر الگوی رود و غیره قابل مشاهده است. از این رو این تغییرات می‌توانند خطراتی را برای ساکنین اطراف رودخانه و مناطق پایین‌دست رود ایجاد نمایند. مطالعات Henshaw and Booth (2000)، McBride and Booth (2005)، Hardison et al (2009)، Hawley et al (2012)، Hogan et al (2014)، Ettinger et al (2015)، نمونه‌های از این تحقیقات هستند.

– فعالیت‌های مدیریتی انسان بر روی کانال رود که در مجموع کانال‌سازی نام دارند شامل مستقیم سازی کانال رود، تغییر ابعاد کانال، ساختن خاکریزها و دیواره‌های سیل بند، تثبیت کانال و کرانه رود، رفع موانع در بستر رود، لایروبی و احداث سرریزها در رودخانه‌ها می‌شوند (Brierley and Fryirs, 2005). مخاطرات مربوط به روش‌های مدیریتی به علت مسدود نمودن احتمالی کانال در طی حوادث سیلابی نمایان می‌شوند.

در مخاطرات رودخانه‌های شهری پایداری و ناپایداری کانال و شناسایی مناطق حساس به خطر مهم است. بنابراین روش‌هایی برای شناسایی مکان‌های ناپایدار در کانال رود (Doyle et al., 2005) و دشت سیلابی (Dust and Wohl, 2010) و همچنین طبقه‌بندی رود به وجود آمده است.

طبقه‌بندی کانال رود یکی از روش‌های شناسایی پایداری نسبی کانال‌های رودخانه‌ای است. Gregory (2002) تعدیل‌های رودخانه‌های شهری را در منطقه شهری آرمیدل استرالیا مورد بررسی قرار داد و یک سیستم طبقه‌بندی کانال را برای توسعه مدیریت رواناب شهری پیشنهاد نمود. Chin and Gregory (2005) الگوهای تعدیل رودهای شهری را در فون تایل هیلز[1] آریزونا مورد بررسی قراردادند. آن‌ها رودخانه‌های شهری را به شش گروه تقریباً طبیعی[2]، در حال تعدیل و قابل بازیابی[3]، در حال تعدیل و غیرقابل‌بازیابی طبیعی[4]، کانالیزه به صورت تغییر کانال[5]، کانالیزه

---
1 Fountain Hills, Arizona
2 Near-natural
3 Adjusting—but could recover
4 Adjusting—unable to recover naturally
5 Channelized—channel altered

مهندسی[1]، کانالیزه کالورتی[2] تقسیم‌بندی کردند و چهارچوبی را برای مدیریت مخاطرات رودخانه‌های شهری ارائه نمودند.

اسماعیلی و لرستانی (١٣٩٤) رودخانه‌های محدوده شهر نور (استان مازندران) را بر اساس روش گریگوری تقسیم بندی نمودند. سپس مخاطرات مربوط به هر نوع از کانال شناسایی نموده و تغییرات کانال شهری را به صورت یک مدل کیفی ارائه کردند.

هدف از این تحقیق شناسایی مخاطرات رودخانه‌ای در محدوده شهر نوشهر و طبقه‌بندی کانال رود بر اساس این مخاطرات است.

٢- مواد و روش‌ها

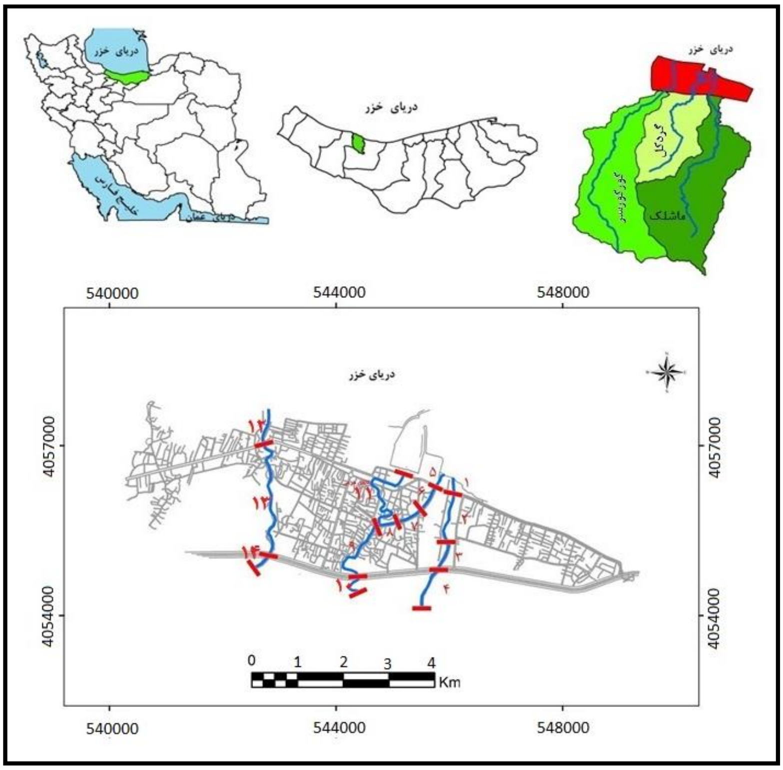
٢-١- محدوده مورد مطالعه

شهر نوشهر در جنوب دریای خزر و شمال استان مازندران در عرض‌های جغرافیایی ″١٠ ′٣٧ °٣٦ تا ″٣١ ′٤٠ °٣٦ شمالی و بین طول‌های جغرافیایی ″٤٣ ′٢٦ °٥١ تا ″٢٣ ′٣٣ °٥١ شرقی واقع شده است(شکل ١). محدوده شهری نوشهر در جلگه غربی مازندران و بر روی رسوبات دریایی و آبرفتی کواترنر قرار دارد. رودهای ماشلک، گِردکَل و کورکورسر مهم‌ترین رودهایی هستند که از محدوده شهری عبور می‌کنند. حداقل ارتفاع شهر نوشهر از ٢٥- متر در سواحل تا ٤٣ متر در بالادست متغیر است.

میانگین دمای سالانه ایستگاه نوشهر در یک دوره ٣٣ ساله (٢٠١٠-١٩٧٧) ١٦/٢ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه ١٢٧٣ میلیمتر اندازه‌گیری شده است. بیشترین بارش در ماه‌های مهر و آبان با مقدار ٢٤٣/٥ و ١٩٩/٩میلی‌متر وکمترین مقدار بارندگی در ماه تیر با مقدار ٣٣ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است.

این شهر به علت مجاورت با دریای خزر از دوره قاجاریه محل پهلوگیری کشتی‌های تجاری بوده و با تأسیس بندر طی سال‌های ١٣١١ تا ١٣١٩ فعالیت‌های تجاری به طور رسمی در آن رونق یافت. آغاز شکل‌گیری نوشهر از روستای گِردکَل و منطقه شهرپشت بوده است که در مجاورت رودخانه گردکل در شمال مسیر راه سرتاسری کناره قرار داشته است. این روستا به جهت آغاز فعالیت‌های عمرانی توسط حبیب الله خان سردار خلعتبری تنکابنی به حبیب‌آباد معروف شد؛ سپس به دهنو و در سال ١٣١٨ هجری شمسی به نوشهر تغییرنام یافت. نوشهر از سال ١٣١٣ به شهر تغییر یافت (شهرداری نوشهر،http://www.nowshahr.ir).

1 Channelized—engineered
2 Channelized—culverted



شکل ١- موقعیت شهر نوشهر و بازه‌های رودخانه‌ای مورد مطالعه

٢-٢- روش پژوهش

در این مقاله، روشی برای طبقه‌بندی رودخانه‌های شهری از نظر مخاطرات رودخانه‌ای توسط مؤلفین ارائه شده است. جهت بررسی تغییرات رودخانه‌های شهری، از عکس‌های هوایی سال‌های ١٣٧٨ با مقیاس ١:١٠٠٠٠ و تصاویر گوگل ارث فصل بهار سال ١٣٩٥ استفاده شد. ابتدا مسیرهای رود در محدوده شهری رقومی شده و اشکال ژئومورفیک رودخانه‌ای شامل پادگانه‌های آبرفتی، دشت سیلابی و موانع رسوبی رودخانه‌ای ترسیم شدند.

برای مطالعه تفصیلی از رودخانه‌های شهری، کانال‌های رودخانه‌ای موجود در محدوده‌ی شهری نوشهر در مجموع به ١٤ بازه تقسیم‌بندی شدند که تعداد ٤، ٧ و ٣ بازه به ترتیب برای رودخانه‌های ماشلک، گِردکَل و کورکورسر مورد بررسی قرار گرفتند. در بررسی‌های میدانی ویژگی‌های مربوط به هر بازه شامل ابعاد کانال (طول، عرض، عمق و شیب)، اندازه رسوبات بستر، اشکال ژئومورفولوژیک کانال رود (اشکال بستر، واحدهای رسوبی، دشت سیلابی، پادگانه آبرفتی، فرسایش کرانه و...)، تغییرات انسانی ایجادشده و سازه‌های احداث‌شده بر روی کانال در قالب فرم‌هایی ثبت و اندازه‌گیری شدند(جدول ١).

طبقه‌بندی کانال‌های رودخانه‌ای با بررسی تعدیل‌های ژئومورفیک رود و روش‌های مدیریتی کانال، طی سه مرحله انجام شدند.

در مرحله اول رودخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های ژئومورفیک و شواهد تعدیل رود، شاخص‌های الگوی رود، بزرگ شدگی کانال رود، تغییرات بستر رود و کاهش ظرفیت کانال مورد بررسی قرار گرفت. بررسی این تغییرات با مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای دو دوره و اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات میدانی انجام شد و کانال رود بر اساس میزان تعدیل به سه دسته کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) تقسیم‌بندی شدند(رید و بریرلی[1]، ۲۰۱۵).

تعدیل کم (L): رودهایی هستند که به وسیله عوامل مرزی اجباری مانند دیواره و بستر مقاوم محدودشده و تغییرات کمی در محدوده کانال اعمال شده است.

تعدیل متوسط (M): این کانال‌ها تغییرات بیشتری را تجربه نموده و نسبت به سیلاب‌های بزرگ تعدیل می‌شوند اما تأثیرات آن‌ها به اندازه‌ای نیست که موجب تغییرات اساسی در دشت سیلابی رود شوند.

تعدیل زیاد (H): این گروه از رودخانه‌ها معمولاً از نظر جانبی محدودیت نداشته و بسیار فعال هستند. از این رو می‌توانند منجر به انواع تعدیل‌ها خصوصاً تغییرات مسیر رود و تغییر پلانفرم شوند.

در مرحله دوم، رودخانه‌ها بر حسب مداخلات انسانی (مدیریتی) و ایجاد انواع سازه‌های رودخانه‌ای تقسیم بندی شدند. این فعالیت‌ها که در مجموع کانال‌سازی نام دارند شامل مستقیم سازی کانال رود، تغییر ابعاد کانال، ساختن خاکریزها و دیواره‌های سیل بند، تثبیت کانال و کرانه رود، رفع موانع در بستر رود، لایروبی و احداث سرریزها در رودخانه‌ها می‌شوند با اهداف مختلفی احداث‌شده یا به کار گرفته می‌شوند (بریرلی و فریرس، ۲۰۰۵: ۲۱٤). در این گروه کانال رود به ٤ دسته A تا D تقسیم‌بندی شدند که A نشان دهنده حداکثر فعالیت‌های کانال سازی در دیواره‌ها و بستر رود بوده و D حداقل کانال سازی در کانال رود است (جدول ۲).

مرحله سوم، در نهایت با تلفیق دو گروه تعدیل ژئومورفیک و عوامل مدیریتی، مخاطرات رودخانه‌های شهری به چندین گروه تقسیم‌بندی شدند(جدول ۳). بر اساس این جدول گروه LA حداقل تعدیل کانال را در نتیجه ویژگی کانال و فعالیت کانال‌سازی داشته و گروه HD به صورت طبیعی و بدون کانال‌سازی بوده و بیشترین میزان تعدیل را داراست. سایر حالت‌ها بین این دو گروه قرار می‌گیرند. در هر گروه از کانال‌ها، شدت فعالیت فرایندهای ژئومورفیک با مقادیر ۱، ۲ و ۳ مشخص شده‌اند که عدد۱ نشان دهنده حداقل فعالیت و عدد ۳ نشان دهنده حداکثر فعالیت ژئومورفیک است.

1 Reid and Brierly

جدول ۱- ویژگی‌ها و شواهد ژئومورفیک تعدیل رود

عامل	شاخص‌های مورد استفاده	توصیف
الگوی رود	- ضریب سینوسیته - شاخص شریانی بریس	- نسبت طول رودخانه به طول دره - نسبت طول موانع رسوبی درون کانالی به طول کانال
بزرگ‌شدگی کانال	- پهن‌شدگی کانال	تغییرات عرض کانال در دو دوره و مشاهده شواهد پهن شدگی کانال مانند فرسایش دیواره کانال و انواع حرکات توده‌ای، افتادن یا خم شدن درختان، دیوار و غیره، ریشه‌های بیرون‌زده درختان، فرسایش پای کرانه در قوس‌های داخلی پیچان‌رود، تخریب گابیونها، دیواره‌های بتنی، ایجاد شکاف و ترک‌خوردگی در بالای کرانه
	- عمیق شدگی کانال	شواهد عمیق شدن کانال مانند بیرون زدگی پایه پل‌ها، زیربری گابیونها و دیواره-های بتنی کناره رود، بریده شدن موانع رسوبی، هدکت در نتیجه عقب‌نشینی شکستگی‌های طولی بستر، بریده شدن عمودی موانع رسوبی قدیمی، فرسایش رسوبات یا سنگ بستر در کانال
	- تشکیل گالی	ایجاد گالی و آبکند در کرانه رود و دشت سیلابی یا پادگانه آبرفتی
کاهش ظرفیت کانال	- تنگ شدگی و کم شدن عمق کانال	تشکیل انواع موانع رسوبی درون کانالی مانند موانع طولی، عرضی و مرکب تشکیل موانع متصل به کرانه رود مانند پوینت بار، موانع متناوب و سکوهای آبرفتی

جدول ۲- طبقه بندی کانال‌های شهری بر اساس فعالیت‌های کانال سازی در رودخانه(منبع: نگارندگان)

گروه	توصیف	مقدار حفاظت از کانال
A	دیواره‌ها و بستر بتنی یا حفاظت‌شده	بیش از ۷۰ درصد
B	دو دیواره محافظت‌شده و یا بستر و یک دیواره بتنی	۷۰-۴۰ درصد
C	بستر و یا یک دیواره حفاظت‌شده	۴۰-۱۰ درصد
D	طبیعی و یا بدون حفاظت انسانی	کمتر از ۱۰ درصد

جدول ۳- طبقه بندی کانال رودهای شهری بر اساس میزان تعدیل طبیعی و انسانی(منبع: نگارندگان)

فعالیت کانال سازی / میزان تعدیل طبیعی	A	B	C	D
L	LA	LB	LC	**LD**
M	MA	MB	MC	**MD**
H	HA	HB	HC	**HD**

۳- نتایج و بحث

۳- ۱- مورفومتری کانال رود و تغییرات آن

اندازه گیری ابعاد سه رودخانه اصلی ماشلک، گِردکَل و کورکورسر در محدوده شهر نوشـهر طـی سـالهای ۱۳٤٥-۱۳۹٥ در جدول ٤ نشان داده شده است. بازه ۱ تا ٤ در محدوده رودخانـه ماشـلک بـوده اسـت. میـانگین شـیب ایـن رودخانه ۰/۰۱ متر بر متر اندازه گیری شده است. عرض دشـت سـیلابی (فاصـله بـین دو تـراس مجـاور رودخانـه) از بالادست به سمت پایین دست روند کاهشی دارد. تغییرات عرض دشت سیلابی ایـن رودخانـه خصوصـاً در بازه‌هـای ۳و٤ طی سال‌های ۱۳٤٦ و ۱۳۹٥ به طور میانگین چهار برابر کاهش یافته اسـت کـه علـت آن اشـغال دشـت سـیلابی توسط انسان و تجاوز به حریم رودخانه بوده است. الگوی رودخانه به صورت شریانی بوده و شاخص شـریانی کانـال در طی زمان افزایش یافته است.

بازه‌های ٥ تا ۱۱ در رودخانه گِردکَل قرار دارند. هسته اولیـه نوشـهر در امتـداد ایـن رودخانـه قـرار داشـته اسـت. مساحت حوضه این رودخانه ۲٤/٥ کیلومتر مربع و شیب متوسـط رودخانـه در محـدوده شـهری ۰/۰۰٥ متـر بـر متـر است. زمان احداث بندر نوشهر در دهه ۱۳۱۰ هجری شمسی، برای جلوگیری از ورود رسـوب بـه محـدوده بنـدرگاه، بخشی از مسیر رودخانه گِردکَل را با احداث یک کانال فرعی منحـرف نمودنـد(بازه‌های ٥ تـا ۸). کانـال قـدیمی هـم اکنون در محدوده شهری با عنوان گندآبرو معروف است که جریـان دائمـی آب نـدارد(بازه ۱۱). میـانگین فاصـله بـین تراسها از ۱۹ تا ۲٤ متر متغیر است. بازه‌های ٥ تا ۸ به صـورت مسـتقیم بـوده امـا در بازه‌هـای ۹ و ۱۰و ۱۱ بـا نسـبت پیچانرودی ۱/٥ به صورت مئاندری هستند. تغییرات نسبت پیچانرودی از بالادست به پایین دست نشان می‌دهـد کـه بـا حذف پیچانرود کانال به صورت مستقیم درآمده است. نسبت عرض رود به فاصـله بـین تـراس‌هـا از ۰/٤٤ تـا ۰/۸۹ متغیر بوده که نسبت بالای این شاخص نشان دهنده دشت سیلابی باریک یا عدم وجود دشت سیلابی است.

رودخانه کورکورسر با شیب متوسط ۰/۰۰٥ متر برمتر در قسمت غربی نوشهر قـرار گرفتـه اسـت. بازه‌هـای ۱۲ تـا ۱٤ در این رودخانه قرار گرفته‌اند. میانگین فاصله بین دو تراس ٤٥ متر است و نسـبت فاصـله بـین دو تـراس و کانـال رود از ۰/۳۷ تا ۰/٥۳ متغیر است. مقدار پیچانرودی و شاخص شریانی رود در دوره مورد بررسـی تفـاوت نـاچیزی را نشان می‌دهد.

۳- ۲- طبقه بندی انواع کانال

همه بازه‌های رودخانه‌های مورد مطالعه بین تراسهای آبرفتی محصور شده‌اند. ارتفاع متوسط ایـن تراسـها از ۲ تـا ٤ متر متغیر است و در آخرین فاز پسروی دریای خزر ایجاد شده‌اند. در صورتی که نسبت عـرض رودخانـه بـه فاصـله بین دو تراس بین ٦۰-۱۰ درصد بوده باشد ظرفیت تعدیل ژئومورفیک متوسط در نظر گرفتـه شـده و مقـادیر بـیش از ٦۰ درصد و کمتر از ۱۰ درصد به ترتیب نشان دهنده ظرفیت تعدیل کم و زیاد هستند. بر این اساس بـازه‌هـای ۱ تـا ٤

رودخانه ماشلک، بازه ۱۰رودخانه گِردکَل و بازه‌های ١٤–١٢ رودخانه کورکورسر ظرفیت تعدیل ژئومورفیک متوسط دارند. بازه‌های ۹–٥ و ۱۱ رودخانه گِردکَل دارای ظرفیت تعدیل کمی هستند. شکل‌های ۲ و۳ نقشه‌های ژئومورفولوژی رودخانه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند و در جدول ٥ به برخی از ویژگی‌های ژئومورفیک بازه‌های مورد مطالعه اشاره شده است.

در مرحله دوم تعیین نوع رود، از عوامل مدیریتی تأثیرگذار در تعدیل رودخانه استفاده شد. بر این اساس بازه‌های ٤–۱ رودخانه ماشلک و بازه‌های ١٤–١٢ رودخانه کورکورسر حالت تقریباً طبیعی داشته و احداث سازه‌های کنترل کننده فرسایش در دیواره و بستر رود کمتر از ۱۰ درصد طول بازه را شامل می‌شوند. بدین ترتیب این بازه‌ها در گروه D قرار می‌گیرند. بازه‌های ۹–٥ رودخانه گِردکَل همان طور که اشاره شد به صورت کانال مصنوعی بوده و در زمان احداث اسکله بندر نوشهر احداث شده‌اند.

این کانال در محدوده با تراکم مسکونی بالا(هسته اولیه شهر) احداث شده و فعالیت‌های کانال سازی بر روی آن صورت گرفته است. بیش از ٦۰ درصد دیواره‌های این کانال دارای محافظ بتنی بوده که موجب کاهش فرسایش کناره رودخانه شده‌اند. از این رو با توجه به دخالت زیاد انسان در فعالیت‌های کانال سازی، این بازه‌ها در گروه A و B قرار می‌گیرند. در سه بازه ۷–٥ که به دریا منتهی می‌شوند، دیواره‌های عرضی در بستر رود احداث شده است که به عنوان تله رسوبگیر عمل نموده و در نتیجه فرایند تخلیه رسوب از رودخانه به دریا به شدت کاهش یافته است. با احداث این سازه، شیب بستر رود کاهش یافته و چالاب‌های طویل(بخشی از بستر رود که جریان بسیار آرامی داشته و از رسوبات سیلتی و رسی تشکیل گردیده) ایجاد شده است.

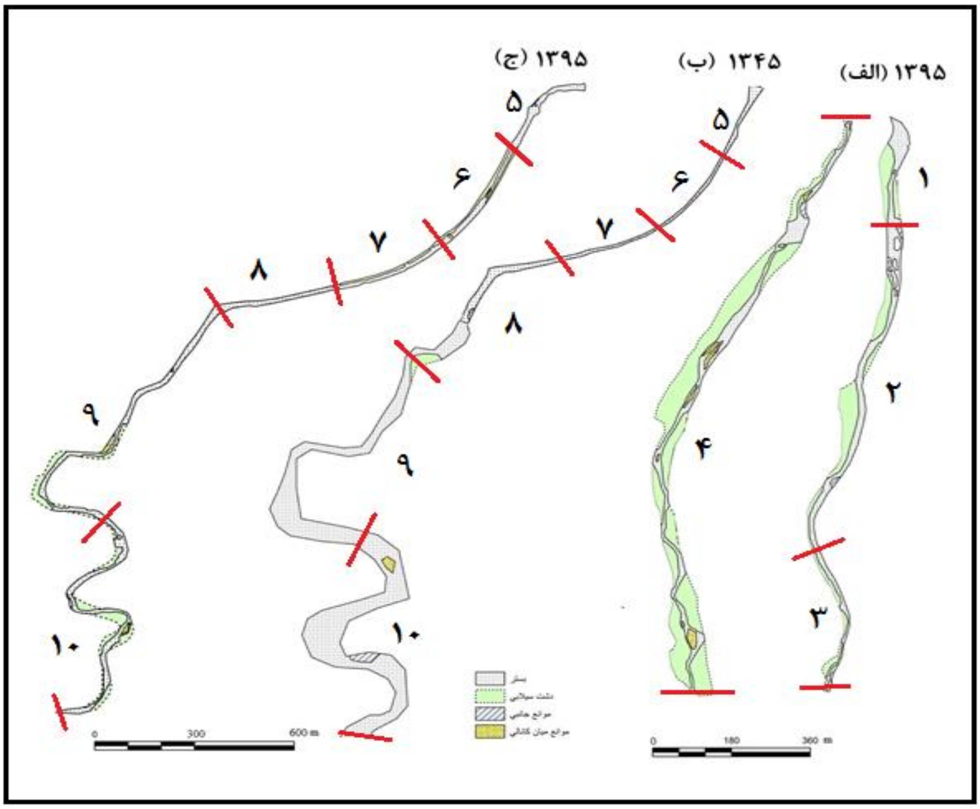
جدول ٤– ابعاد مورفومتری بازه‌های مورد مطالعه در محدوده شهر نوشهر

رودخانه	بازه	شیب بازه (m/m)	فاصله بین دو تراس به متر		عرض کانال به متر		نسبت عرض دره به کانال	نسبت پیچانرودی		شاخص شریانی (بریس)	
		۱۳۹٥	۱۳٤٥	۱۳۹٥	۱۳٤٥	۱۳۹٥	۱۳۹٥	۱۳٤٥	۱۳۹٥	۱۳٤٥	۱۳۹٥
ماشلک	۱	۰/۰۱	٥۸	۳۸	٥۸	۱۸	۰/٤۷	۱/۰٤	۱/۰٥	–	۰/۲٦
	۲	۰/۰۱	٤۳	۳۱	٤۳	۱٦	۰/٥۱	۱/۰۷	۱/۰۱	۰/۰۳	۰/۱٦
	۳	۰/۰۱	۱۲۳	۲۹	۱۲۳	۹	۰/۳۱	۱/۰٤	۱/۱٦	۰/۷	۰/۲۲
	٤	۰/۰۲	۲۱۰	٤۸	۱۳۷	۱۷	۰/۳٥	۱/۱	۱/۱۲	–	۰/٥٦
گِردکَل	٥	۰/۰۱	۲۷	۲٤	۲۷	۲۱	۰/۸۷	۱/۰۲	۱/۱٤	–	۰/۱٥
	٦	۰/۰۱	۱٦	۲۸	۱٦	۱۷	۰/٦	۱	۱	–	۰/۱
	۷	۰/۰۰٥	۱۳	۲٤	۱۳	۱٥	۰/٦۲	۱/۰۷	۱	–	–
	۸	۰/۰۰۲	۲٤	۱۸	۲٤	۱٦	۰/۸۹	۱/۰۲	۱	–	–
	۹	۰/۰۰۲	٤۱	۲۸	۳۷	۱۷	۰/٦	۱/۳	۱/٤۱	۰/۱٦	۰/۰٦

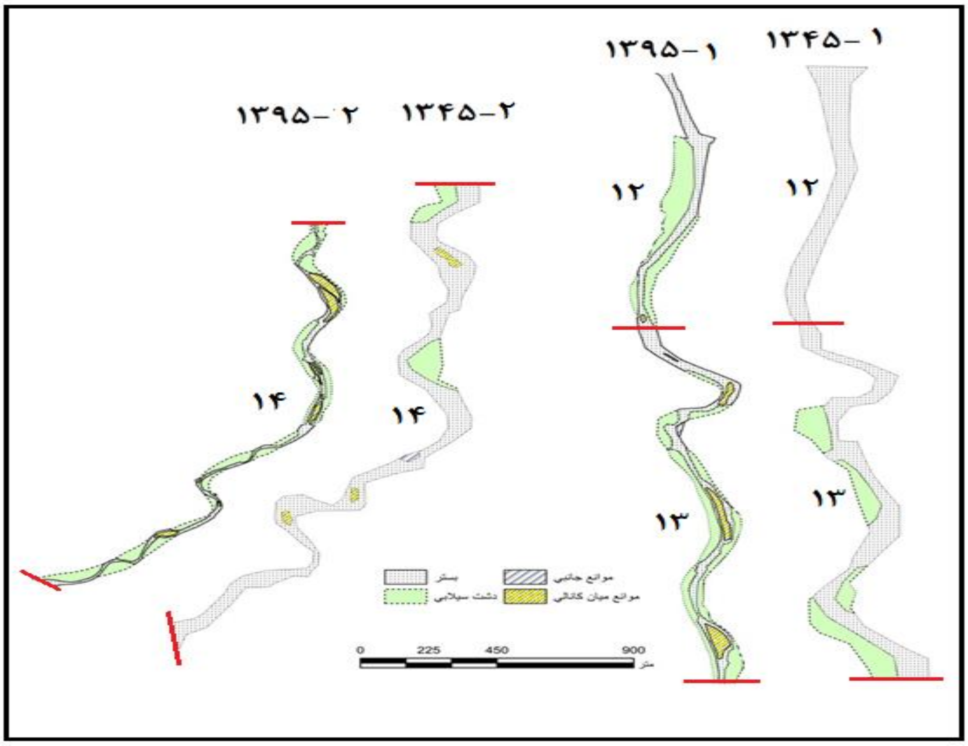
ادامه جدول ٤

رودخانه	بازه	شیب بازه (m/m)	فاصله بین دو تراس به متر		عرض کانال به متر		نسبت عرض دره به کانال	نسبت پیچانرودی		شاخص شریانی (بریس)	
		۱۳۹۵	۱۳٤٥	۱۳۹۵	۱۳٤٥	۱۳۹۵	۱۳۹۵	۱۳٤٥	۱۳۹۵	۱۳٤٥	۱۳۹۵
	۱۰	۰/۰۰۷	٥۷	۳۹	۳٦/٥	۱۷	۰/٤٤	۱/۷	۱/٥٥	۰/۰۷	۰/۰٤
	۱۱	۰/۰۰٦	٦	٦	٦	٦	–	۱/٥٥	۱/٥٥	–	–
کورکورسر	۱۲	۰/۰۰٤	٤٤	۳۷	٤٤	۱۹/٥	۰/٥۳	۱/۰۲	۱/۰٥	–	۰/۰۳
	۱۳	۰/۰۰٦	۷۳	٤٦	٤٦	۱۸	۰/۳۹	۱/۳	۱/۱۲	۰/٥	۰/٥۲
	۱٤	۰/۰۱	٤۸/٥	٤٥	٤٤	۱۷	۰/۳۷	۱/۱۷	۱/۱۲	۰/۰٦	۰/۱

سپس با تلفیق مراحل اول و دوم، انواع کانال براساس ظرفیت تعدیل طبیعی و انسانی طبقه‌بندی شدند و شدت فعالیت ژئومورفیک آن‌ها با مقادیر ۱ تا ۳ (از کمترین تا بیشترین) مشخص گردید(جدول ٥). بر این اساس بازه‌های ۹ و ۱۱ حداقل میزان تعدیل و بازه‌های ۳و ۱۳ حداکثر میزان تعدیل را نشان می‌دهند.



شکل ۲- نقشه ژئومورفولوژی رودخانه‌های (الف) ماشلک و (ب) گردِکَل



شکل ۳- نقشه ژئومورفولوژی رودخانه کورکورسر در سالهای ۱۳٤۵ و ۱۳۹۵

جدول ٥- ویژگی‌های تعدیل ژئومورفیک و اقدامات مدیریتی در رودخانه‌های شهری نوشهر

بازه	ویژگی‌های ژئومورفیک	اقدامات مدیریتی (فعالیت‌های انسانی)	نوع کانال
۱	الگوی کانال شریانی، دشت سیلابی باریک و ناپیوسته، وجود موانع میان کانالی و متصل به کرانه رود	ایجاد خاکریز مصنوعی با رسوبات گراولی بستر برای جلوگیری از خروج سیل	MD1
۲	کانال تقریباً مستقیم، دشت سیلابی باریک و ناپیوسته، موانع طولی مرکب در انتهای بازه، پهن شدگی کانال	احداث دیواره بتنی در ۲۰ درصد طول بازه در یک طرف کناره رود	MD2
۳	کانال شریانی، دشت سیلابی در قسمت غربی کانال، موانع درون کانالی و جانبی، فرسایش کرانه و پهن شدگی کانال	برداشت مصالح از بستر رود، ایجاد شکستگی و اختلاف ارتفاع در بستر رود (تشکیل آبشار ۲ متری در بستر رود)	MD3
٤	کانال شریانی با دشت سیلابی تقریباً پیوسته، موانع درون کانالی و جانبی، پهن شدگی کانال	خاکریزهای مصنوعی ایجاد شده در دشت سیلابی	MD2
٥	کانال مصنوعی تقریباً مستقیم و فاقد دشت سیلابی، موانع سیلتی متصل به کرانه	احداث دیواره رسوبگیر در عرض بستر جهت جلوگیری از ورود رسوب به دریا و تشکیل چالاب طویل، تجمع رسوبات در دهانه پل‌ها، حفاظت کرانه در ٥۰ درصد طول بازه	LB1

ادامه جدول ۵

بازه	ویژگی‌های ژئومورفیک	اقدامات مدیریتی (فعالیت‌های انسانی)	نوع کانال
٦	کانال مصنوعی تقریباً مستقیم و فاقد دشت سیلابی، مقطع عرضی ذوزنقه‌ای، رسوبگذاری سیلتی در کناره بستر	احداث دو دیواره رسوبگیر در عرض بستر جهت جلوگیری از انتقال رسوب و تشکیل چالاب‌های طویل، حفاظت کرانه به صورت سنگ چین در ۷۰ درصد طول بازه	LB1
۷	کانال مصنوعی تقریباً مستقیم و فاقد دشت سیلابی، مقطع عرضی ذوزنقه‌ای	دیواره سنگ چین و شیبدار، حفاظت کرانه در سمت چپ کانال	LB1
۸	کانال مصنوعی تقریباً مستقیم و فاقد دشت سیلابی، موانع متصل به دیواره تراس آبرفتی	حفاظت بیش از ۸۰ درصد کرانه رود به صورت دیواره بتنی در هر دو طرف کناره، احداث دریچه آهنی برای اتصال کانال جدید و قدیم جهت تخلیه سیل	LB1
۹	کانال در محدوده کاربری مسکونی به صورت مستقیم بوده و بیرون از این کاربری به صورت پیچانرودی با دشت سیلابی ناپیوسته است، موانع جانبی و میان کانالی	بیش از ٦۰ درصد طول بازه در هر دو کرانه به صورت دیواره بتنی محافظت شده است. دستکاری در کناره کانال در محدوده فاقد حفاظت، تخلیه نخاله‌های شهری	LA1
۱۰	کانال طبیعی با الگوی پیچانرودی، دشت سیلابی ناپیوسته، زیربری و فرسایش کرانه	عریض کردن کانال بوسیله انسان	MD2
۱۱	کانال طبیعی متروک شده به علت احداث بندر، الگوی پیچانرودی	دیواره بتنی، عدم وجود جریان طبیعی رود، بستر بتنی، ایجاد کانال سرپوشیده (کالورتی) در محدوده اسکله	LA1
۱۲	کانال با سینوسیته کم، دشت سیلابی ناپیوسته و باریک، موانع متصل به کرانه، فرسایش کرانه	۳۰ درصد کرانه سمت راست کانال بتنی است، تخلیه نخاله‌های شهری	MD2
۱۳	کانال شریانی و دشت سیلابی ناپیوسته، موانع طولی مرکب، پهن شدگی کانال، فرسایش و زیربری کرانه	کمتر از ۱۰ درصد بازه با دیواره بتنی حفاظت می‌شود، دستکاری در بستر، خاکریزهای مصنوعی	MD3
۱٤	کانال با سینوسیته کم و دشت سیلابی ناپیوسته، موانع درون کانالی،فرسایش کرانه رود در خمیدگی‌های مقعر	۲۰ درصد طول یک کرانه دارای دیواره بتنی است.	MC2

۳- ۳- انواع مخاطرات رودخانه‌ای

پس از طبقه بندی انواع رودها، مخاطرات رودخانه‌ای مشاهده شده در بازه‌های مورد مطالعه بر اساس فرایندهای فرسایشی، رسوبگذاری، هیدرولوژیکی و دخالت‌های انسانی مشخص شدند(جدول ٦). در بازه‌های گروه MD با توجه به دخالت‌های کم انسان در حفاظت از کرانه، فرایندهای فرسایشی غلبه داشته و در طی جریان‌های سیلابی مختلف تعدیل طبیعی رخ می‌دهد. در این بازه‌ها، دخالت انسان به صورت تجاوز به حریم رود(دشت سیلابی)، تخلیه نخاله‌های شهری و برداشت شن و ماسه از بستر رود مشاهده می‌شود.

جدول ٦- مخاطرات رودخانه‌ای مشاهده‌شده در بازه‌های مورد مطالعه رودخانه‌های شهری نوشهر

بازه	نوع کانال	فرسایش		رسوب‌گذاری				فعالیت‌های انسانی				هیدرولوژی		
شماره بازه	طبقه‌بندی کانال	کناره رود و زیر بری	حفر بستر	موانع میان کانالی	موانع متصل به کرانه	تنگ شدگی دهانه پل‌ها	سیلتی شدن بستر	برداشت شن و ماسه	تنگ شدگی دشت سیلابی	انباشت نخاله‌های شهری	حذف قوس پیچان رود	قطع جریان طبیعی آب به کانال	خروج سیل از تراس آبرفتی	ورود رواناب شهری به کانال
١	MD1	●		●	●					●				●
٢	MD2	●		●	●				●					
٣	MD3	●	●	●	●	●		●	●					
٤	MD2	●		●	●			●	●	●				
٥	LB1				●	●	●				●			●
٦	LB1				●	●	●				●		●	●
٧	LB1				●	●				●	●		●	●
٨	LB1				●	●					●		●	●
٩	LA1				●						●		●	●
١٠	MD2	●		●	●					●			●	
١١	LA1						●					●		●
١٢	MD2	●			●					●				●
١٣	MD3	●		●	●					●				●
١٤	MC2	●		●	●			●		●				

فرایندهای رسوب‌گذاری خصوصاً موانع متصل به کرانه تقریباً در همه انواع بازه‌ها مشاهده می‌شوند. اما بیشترین تأثیر آن‌ها در کانال‌های گروه LB است که در رودخانه گِردکَل قرارگرفته‌اند. در این کانال‌ها به علت احداث دیواره‌های محافظ کناره، فرسایش کناره رود ناچیز است. اما رسوب‌گذاری در کانال خصوصاً در جاهایی که پل‌های پایه‌دار وجود دارد از طرفی موجب کاهش ظرفیت کانال برای انتقال جریان‌های سیلابی شده و از طرف دیگر با ورود رواناب‌های شهری به درون کانال اصلی، شرایط خروج سیل از تراس آبرفتی فراهم شده و سیل به مناطق شهری وارد می‌شود. سیل‌های سال‌های ١٣٧٣، ١٣٨٢ و ١٣٩٠ از جمله سیلاب‌هایی هستند که از دیواره‌های مرتفع کانال گِردکَل خارج شده و خسارات زیادی به مناطق شهری وارد کرده‌اند. البته عواملی مانند حذف قوس‌های پیچان‌رودها

(ایجاد کانال مستقیم)، احداث دیواره‌های عرضی در بستر کانال و کاهش شیب کانـال هـم از عوامـل مـؤثر در خـروج سیلاب از کانال هستند.

٤- جمع بندی

در این تحقیق، روشی برای طبقه‌بندی رودخانه براساس مخاطرات کانال رود توسط مؤلفین مقاله ارائه شـده اسـت. این روش بر مبنای ظرفیت تعدیل کانال رود و میزان دخالت انسانی (احـداث سـازه‌های) در رودخانـه پیشـنهاد شـده است. نتایج استفاده از این روش در رودخانه‌های شهری نوشهر نشان می‌دهـد کـه بـا بـه‌کارگیری ایـن روش می‌تـوان انواع مخاطرات موجود و محتمل در کانال رود(شامل انواع تغییرات مربوط به فرسـایش کنـاره رود، زیـر بـری کنـاره رود، پسروی نیمرخ طولی رود، رسوب‌گذاری در کانال و کاهش ظرفیـت کانـال ، سـیلاب و غیـره) را در هـر یـک از بازه‌ها شناسایی و دسته‌بندی نمود. هم چنین استفاده از عکس‌های هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای رونـد تغییـرات کانـال رود را در بازه‌های زمانی فراهم می‌آورد. به علاوه، با توجه به تداوم جریان آب و رسـوب از بالادسـت بـه پایین‌دسـت رود، هرگونه تغییرات و اثرات در بازه‌های بالادست، می‌تواند در پایین‌دست رودخانه هـم تأثیرگـذار باشـد کـه در ایـن طبقه‌بندی می‌توان انواع مخاطرات کانالی و اثرات خارج از بازه را تحلیل نمود.

در مجموع با استفاده از این روش، شناخت مطلوب‌تر و بهتری نسبت به مخاطرات ژئومورفیـک کانـال رود فـراهم شده و می‌تواند در جهت اعمال فعالیت‌های مدیریتی در رودخانه‌های مختلف مؤثر واقع شود. با بررسـی رودخانـه‌های مختلف در موقعیت‌های مختلف ژئومورفیک می‌توان روش مذکور را توسعه داد تا بتوان چهـارچوب مـدیریتی کـاملی در زمینه مخاطرات رودهای شهری به وجود آورد.

کتابنامه

اسماعیلی، رضا؛ لرستانی، قاسم؛ ١٣٩٤. «ارزیابی اثرات شهرنشینی بر ویژگی‌های ژئومورفیک رودخانه‌ها، مطالعه موردی شهر نور، استان مازندران». پژوهش‌های دانش زمین. دوره ٦. شماره٤. ٩٣-٧٨.

اسماعیلی، رضا؛ لرستانی، قاسم؛ رجب پور، مریم؛ ١٣٩٥. «ارزیابی ژئومورفیک و بررسی تغییرات بابل رود در محدوده شهر بابل، استان مازندران». مخاطرات محیط طبیعی. شماره ٩، ٨٨-٧٧.

حسین‌زاده، سیدرضا؛ جهادی طرقی، مهناز؛ ١٣٨٦. «اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری». پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ٦١ ، ١٥٩-١٤٥.

حسین‌زاده، محمدمهدی؛ اسماعیلی، رضا؛ ١٣٩٤. *مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مفاهیم، اشکال و فرایندها*. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. چاپ اول.

رستمی‌خلج، محمد؛ مهدوی، محمد؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ سلاجقه، علی؛١٣٩١.«تحلیل حساسیت متغیرهای مؤثر بر سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM». پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال سوم. شماره ۵. ۹۰-۸۱.

قهرودی تالی، منیژه؛ مجیدی هرودی، آنیتا؛ عبدلی، اسماعیل؛ ۱۳۹۵. «آسیب پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن)». جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۷، ۳۶-۲۱.

Brierley, G.L., & Fryirs, K., 2005. Geomorphology and River Management: Application of the River Style framework. Blackwell publishing,UK.

Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., & Gauffre, P.L., 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures, *Science of the Total Environment*, 514, 418–425.

Chin, A., & Gregory, K.J., 2005. Managing urban river channel adjustments. *Geomorphology*, 69, 28–45.

Chin, A., O'Dowd, A.P., & Gregory, K.J., 2013. Urbanization and River Channels, *Treatise on Geomorphology*, 9, 809-827.

Doyle, M.W., Jonathan, M.H., Rich, C.F., & Spacie, A., 2000. Examining the effects of urbanization on streams using indicators of geomorphic stability. *Physical Geography*, 21(2), 155-181.

Dust, D.W., & Wohl, E.E., 2010. Quantitative technique for assessing the geomorphic thresholds for floodplain instability and braiding in the semi-arid environment. *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 55(1), 145–160.

Ettinger, s., Mounaud, L., Magill, C., Yao-Lafourcade, A.F., Thouret, J.C., Manville, V., Negulescu, C., Zuccaro, G., Gregorio, D.D., Nardone, S., Uchuchoque, j.A.L., Arguedas, A., Macedo, L., & Llerena, N.M., 2015. Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression, *Journal of Hydrology*, 541, 563-581.

Gregory, K.N., 2002. Urban channel adjustments in a management context: an Australian example, *Environmental Management*, 29 (5), 620–633.

Hardison, E.C., O'Driscoll, M.A., DeLoatch, J.P., Howard, R.J., & Brinson, M.M., 2009. Urban land use, channel incision and water table decline along coastal plain streams, North Carolina, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 45 (4), 1032-1046.

Hawley, R.J., Bledsoe, B.P., Stein, E.D., & Haines, B.E., 2012. Channel evolution model of semiarid stream response to urban-induced hydromodification, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 48(4), 722-744.

Henshaw, P.C., & Booth, D.B., 2000. Natural restabilization of stream channels in urban watersheds, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 36 (6), 1219-1236.

Hogan, D.M., Jarnagin, S.T., Loperfido, J.V., & Ness, K.N., 2014. Mitigating the effects of landscape development on streams in urbanizing watersheds, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 50 (1), 163-178.

McBride, M., & Booth, D.B., 2005. Urban impacts on physical stream condition: effects of spatial scale, connectivity, and longitudinal trends. *Journal of the American Water Resources Association*, 41 (3), 565–580.

Morelli, S., Battistini, A., & Catani, F., 2014. Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy), *Applied Geography*, 54, 35-53.

Reid, H.E., & Brierly, G.J., 2015. Assessing geomorphic sensitivity in relation to river capacity for adjustment, Geomorphology, 251, 108-121.